

## Analisa kinerja pembangkit turbin gas PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar menggunakan *Generating Availability Data System*

Adriwiyono<sup>1</sup>, Bonivasius P. Ichtiarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Senior Engineering & Quality Assurance, PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, Bekasi

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Jakarta

Corresponding author: [adriwiyono@yahoo.com](mailto:adriwiyono@yahoo.com)

**Abstrak.** Tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan utama bagi masyarakat Indonesia, tetapi tidak dapat dihasilkan secara instan melainkan melalui suatu proses produksi pembangkitan energi listrik di pembangkit listrik. PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar merupakan salah satu unit pembangkit di Kabupaten Bekasi dengan daya terpasang 2.062 MW, produksi listrik disalurkan melalui SUTET 500 KV ke Gardu Induk Cibatuan dan Cawang. Permasalahannya adalah sering terjadi gangguan yang mengakibatkan kerugian produksi dan ketidakandalan sistem jaringan. Tujuan penelitian ini melakukan evaluasi pembangkit gas turbin dengan menggunakan *Generating Availability Data System (GADS)*, analisis probabilitas dan reliabilitas menggunakan distribusi weibull. Aplikasi *Failure Modes Effect Analysis* dilakukan untuk mendapatkan nilai *Risk Prioritas Number (RPN)* prioritas dan strategi pemeliharaan guna melakukan perbaikan kinerja. Hasil analisa kesiapan unit pembangkit diperoleh hasil antara 88,16-88,24 persen, nilai *capacity factor (CF)* antara 58,44 - 65,59 persen. Jumlah kegagalan gas turbin GT11 sebanyak 19 kali dan menghasilkan parameter beta sebesar 0,6096 dan eta sebesar 1133,6664; gas turbin GT 12 kegagalan sebanyak 15 kali menghasilkan parameter mean sebesar 5,6919 dan standar deviasi sebesar 2,6612; sementara kegagalan gas turbin GT 13 dengan parameter lamda sebesar 0,0003 dengan jumlah kegagalan 10 kali. Hasil analisis Pareto ditemukan lima peralatan kritis, selanjutnya dilakukan *Failure Mode Effect Analysis* untuk rekomendasi pemeliharaan.

Kata kunci: GADS, Weibull, gas turbin, FMEA.

**Abstract.** Electric power has become a major requirement for the Indonesia community, but it cannot be produced instantly but through a production process of generating electricity in a power plant. PT PJB Muara Tawar Generation Unit is one of the generating units in Bekasi Regency with installed power of 2,062 MW, electricity production is channeled through 500 KV SUTET to Cibatuan Substation and Cawang. The problem is that frequent interruptions result in production losses and unreliable network systems. The purpose of this study was to evaluate turbine gas plants using the *Generating Availability Data System (GADS)*, probability and reliability analysis using weibull distribution. The *Failure Modes Effect Analysis* application is done to get the *Risk Priority Number (RPN)* value and maintenance strategy to make performance improvements. The results of the generator unit readiness analysis obtained results between 88.16-88.24 percent, the capacity factor value (CF) between 58.44 - 65.59 percent. The number of GT11 gas turbine failures is 19 times and produces beta parameters of 0.6096 and eta of 1133.6664; gas turbine GT 12 failures 15 times resulting in a mean parameter of 5.6919 and a standard deviation of 2.6612; while GT 13 turbine gas failure with lamda parameter is 0.0003 with a failure number 10 times. Pareto analysis results found five critical equipment, then carried out FMEA for maintenance recommendations.

Keywords: GADS, Weibull, gas turbin, FMEA.

### 1. Pendahuluan

Suatu unit pembangkitan merupakan aset investasi yang bernilai besar karena butuh dana yang signifikan untuk membangun suatu unit pembangkitan. Dengan investasi yang cukup besar, diharapkan suatu unit pembangkit dapat beroperasi dengan baik atau kinerjanya memuaskan. Kriteria keberhasilan suatu unit pembangkit dapat ditinjau dari seberapa besar nilai keandalan unit secara ekuivalen (*EAF-Equivalent Availability Factor*). Target dari suatu unit pembangkit adalah mendapatkan nilai EAF seoptimal mungkin, dengan efisiensi setinggi mungkin (*heat rate* yang rendah) pada kisaran operasi rata-rata (*rated load* yang umumnya diambil dari data spesifikasi Daya Mampu Netto – DMN). Dengan kata lain, unit pembangkit

dapat beroperasi dengan optimal dalam jangka waktu yang tidak terputus atau kontinu dengan biaya pengoperasian yang rasional.

Nilai faktor kesiapan unit pembangkit (EAF) yang tinggi berarti potensial kehilangan keuntungan dari tidak beroperasinya unit pembangkit bisa ditekan seminimal mungkin. *Heat rate* merupakan perbandingan berapa besar kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya yang diharapkan. *Heat rate* rendah, maka setiap volume bahan bakar bisa menghasilkan daya listrik yang lebih besar daripada unit pembangkit yang memiliki *heat rate* yang tinggi (lebih boros). Salah satu cara mudah untuk mengetahui nilai *heat rate* unit pembangkit adalah dengan mengetahui berapa besar bahan bakar yang digunakan (*Specific Fuel Consumption* – SFC), makin besar SFC pada beban yang sama maka unit pembangkit tersebut makin boros.

PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Muara Tawar mempunyai peran penting untuk memasok produksi listrik dalam memenuhi kebutuhan ke sistem jaringan Jawa Bali dan Madura. *Performance* atau kinerja pembangkit sangat penting untuk menjaga sistem jaringan yang meliputi faktor kesiapan unit pembangkit atau ketersediaan (*availability*), faktor keandalan (*reliability*), serta *efisiensi thermal*. Faktor-faktor tersebut sangat penting dalam pengelolaan pembangkit, karena bukan saja menjadi keunggulan komparatif, tetapi juga memberikan pendapatan bagi perusahaan secara nyata, meningkatkan produktivitas dan keandalan. Yang dimaksudkan dalam hal ini bukan berarti mesin pembangkit harus beroperasi secara terus menerus tanpa berhenti, karena hal semacam itu mustahil bisa dilakukan. Mesin perlu istirahat untuk pemeliharaan dan perbaikan yang tujuannya menciptakan keandalan.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja masing-masing pembangkit gas turbin di PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Muara Tawar menggunakan *Generating Availability Data System* (GADS). Perhitungan kehandalan dan probabilitas kegagalan gas turbin serta peralatannya sesuai dengan data waktu kerusakan yang tersedia dari tahun 2014 hingga 2016.

## 2 Kajian Pustaka

### **Generating Availability Data system (GADS)**

*Generating Availability Data System* (GADS) merupakan standar perhitungan kinerja pembangkit sesuai dengan *North American Electric Reliability Corporation* (NERC) versi 2007 & PROTAP H-DKP IKP 2007, berikut penjelasannya:

*Equivalent Availability Faktor* (EAF) adalah perbandingan yang didapat dari kesiapan unit pembangkit untuk beroperasi (baik dalam kondisi *stand by* ataupun operasi) dibagi waktu dalam satu periode dikali seratus persen, indikator keberhasilannya adalah apabila nilai EAF yang dicapai lebih besar dari target.

*Equivalent Force Outage Rate* (EFOR) merupakan faktor gangguann (*forced outage rate*) yang terkoreksi dengan memperhitungkan lama (jam) *deareating*, indikasi keberhasilan dari EFOR apabila pencapaiannya lebih kecil dari target.

*Shutdown off Force* (SdOF) adalah jumlah gangguan unit pembangkit akibat gangguan dari dalam maupun luar per unit. *Formulasi Perhitungan Kinerja Shutdown off Force* (SdOF) adalah realisasi jumlah gangguan per unit dibanding dengan rencana (kesepakatan untuk kontrak kinerja yang dihitung adalah gangguan dari dalam dan luar), indikator keberhasilannya adalah apabila pencapaian lebih kecil dari target atau dengan kata lain hasil baginya kurang dari satu.

*Net Plant Heat Rate* (NPHR) adalah jumlah kalor bahan bakar dihitung berdasarkan nilai kalor bawah atau *low heating value* (LHV) untuk menghasilkan setiap kilo watt hours (kWh) bruto dikurangi pemakaian sendiri (PS).

Perhitungan kehandalan dan probabilitas kegagalan gas turbin serta peralatannya sesuai dengan data waktu kerusakan yang tersedia. Kegagalan peralatan menjadi nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Berdasarkan data pengujian pada nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*), dan LKV (*likelihood function*) akan didapatkan distribusi yang sesuai dengan data kegagalan. Sesuai dengan data dan distribusi laju kegagalan terbagi menjadi empat jenis yaitu:

#### 1. Distribusi Normal

Distribusi normal atau biasa disebut distribusi *gaussian* merupakan salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan penyebaran data. *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*). Dispersi terhadap nilai rata-rata distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi. Parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi.

#### 2. Distribusi Lognormal

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi *lognormal*, logaritma T memiliki distribusi normal. Karakteristik distribusi *lognormal* memiliki dua parameter, yaitu parameter lokasi ( $\mu$ ) dan parameter skala ( $\sigma$ ) atau standar deviasi.

#### 3. Distribusi Weibull

Pada analisis keandalan, distribusi *weibull* telah digunakan secara luas. Penambahan parameter di dalam distribusi *weibull* dapat merepresentasikan banyaknya *probability density function* (PDF), sehingga distribusi ini dapat digunakan untuk variasi data yang luas.

#### 4. Distribusi Eksponensial

Pada analisis keandalan, distribusi eksponensial diukur dengan parameter lamda ( $\lambda$ ). Tahapan untuk menentukan tingkat *reliability* merupakan tahapan analisa kuantitatif (probabilitas) dan tahapan atau prosedur pengolahan data kuantitatif dengan perhitungan nilai kehandalan untuk mengetahui nilai probabilitas kegagalan peralatan gas turbin dalam durasi waktu satu tahun.

Alur penentuan tingkat probabilitas kegagalan peralatan pembangkit gas turbin sebagai berikut:

- Penentuan nilai *Time Between Failure* (TBF)  
Nilai TBF yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari rekaman data pemeliharaan (*service request* atau *work request*) setiap peralatan pembangkit.
- Penentuan nilai MTBF didapatkan dari penjumlahan nilai TBF dibagi dengan banyaknya *maintenance* yang dilakukan.
- Menentukan distribusi *Time Between Failure* (TBF)  
Penentuan distribusi waktu antar kegagalan bertujuan untuk mendapatkan harga kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi *Time to Failure* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull++*.
- Evaluasi keandalan R(t) masing-masing peralatan pembangkit gas turbin  
Hasil dari penentuan parameter uji menggunakan *software ReliaSoft Weibull++Version 6* digunakan untuk menentukan keandalan sistem dengan menggunakan persamaan yang ada. Hasil dari perhitungan keandalan kemudian diplot ke dalam sebuah grafik untuk mengetahui hubungan antara nilai keandalan R(t) dengan waktu operasional.
- Analisa probabilitas terjadinya kegagalan untuk menghasilkan suatu prioritas pemeliharaan dan berdasarkan tingkat dan durasi waktu pengoperasian peralatan dapat diketahui jenis dan interval pemeliharaan yang paling tepat sehingga peralatan dapat terjaga kehandalannya. Dengan acuan nilai keandalan (*reliability*) yang diizinkan oleh PT PJB UP Muara Tawar tidak boleh kurang dari 80 persen. Hasil dari perbandingan nilai tersebut kemudian diplot ke dalam sebuah grafik untuk mengetahui hubungan antara nilai keandalan dengan waktu operasional.

#### **Failure Mode Effect Analysis (FMEA)**

Penerapan FMEA dimaksudkan untuk mengetahui mode kegagalan dan penyebab kegagalan serta pengaruh dari kegagalan tersebut dengan memperhitungkan *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* dalam menentukan *Risk Prioritas Number* (RPN). FMEA dilakukan selama tahap konseptual dan tahap awal design dari sistem

dengan tujuan untuk meyakinkan bahwa semua kemungkinan kegagalan telah dipertimbangkan dan usaha yang tepat untuk mengatasinya telah dibuat untuk meminimasi semua kegagalan-kegagalan yang potensial (Lange, 2001).

Berbagai terminologi dalam FMEA adalah sebagai berikut:

1. Akibat potensial adalah akibat yang dirasakan atau dialami oleh pengguna akhir
2. Mode kegagalan potensial adalah kegagalan atau kecacatan dalam desain yang menyebabkan cacat itu tidak berfungsi sebagaimana mestinya.
3. Penyebab potensial dari kegagalan adalah kelemahan-kelemahan desain dan perubahan dalam variabel yang akan mempengaruhi proses dan menghasilkan kecacatan produk.
4. *Severity (S)* adalah suatu perkiraan subyektif atau estimasi tentang buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan tersebut.
5. *Occurance (O)* adalah suatu perkiraan tentang probabilitas atau peluang bahwa penyebab akan terjadi dan menghasilkan modus kegagalan yang menyebabkan akibat tertentu.
6. *Detectability (D)* adalah perkiraan subyektif tentang bagaimana efektifitas dan metode pencegahan atau pendeteksian.
7. *Risk Priority Number (RPN)* merupakan hasil perkalian antara rating *severity*, *detectability*, dan rating *occurance*

Metodologi *Risk Priority Number (RPN)* merupakan sebuah teknik untuk menganalisa resiko yang berkaitan dengan masalah-masalah yang potensial yang telah diidentifikasi selama pembuatan FMEA (Stamatis, 1995). Metode RPN memerlukan analisa dari tim untuk menggunakan pengalaman masa lalu dan keputusan *engineering* untuk memberikan peringkat pada setiap potensial masalah menurut rating skala berikut:

- *Severity*, merupakan skala yang memeringkatkan *severity* dari efek-efek yang potensial dari kegagalan.
- *Occurance*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari kegagalan akan muncul.
- *Detection*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari masalah akan dideteksi sebelum sampai ke tangan pengguna akhir atau konsumen.

Penentuan rating *severity* berada pada range 1 – 10 seperti dapat dilihat pada Tabel 1, sementara acuan penentuan rating *occurrence* dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun rating skala pengukuran *detection* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1 Rating *severity*

Rangking	Kriteria verbal
1	<i>Neglible severity</i> , kita tidak perlu memikirkan akibat akan berdampak pada kinerja produk pengguna akhir tidak akan memperhatikan kecacatan atau kegagalan ini.
2	<i>Mid severity</i> , akibat yang ditimbulkan hanya bersifat ringan, pengguna akhir tidak merasakan perubahan kinerja
3	
4	<i>Moderate severity</i> , pengguna akhir akan merasakan akibat penurunan kinerja atau penampilan namun masih berada dalam batas toleransi
5	
6	
7	<i>High severity</i> , akibat akhir akan merasakan akibat buruk yang tidak dapat diterima berada diluar batas toleransi
8	
9	<i>Potential safety problem</i> , akibat yang ditimbulkan adalah sangat berbahaya dan bertentangan dengan hukum.
10	

Sumber: Gasperz, 2002.

Tabel 2 Rating *Occurance*

Ranking	Kriteria verbal	Probablilitas Kegagalan
1	Tidak mungkin penyebab ini mengakibatkan kegagalan	1 dalam 1000000
2	Kegagalan akan jarang terjadi	1 dalam 200000 1 dalam 4000
4	Kegagalan agak mungkin terjadi	1 dalam 1000000 1 dalam 4000 1 dalam 80
5		
7	Kegagalan adalah sangat mungkin terjadi	1 dalam 40 1 dalam 20
9	Hampir dapat dipastikan bahwa kegagalan akan mungkin terjadi	1 dalam 8 1 dalam 2

Sumber: Gasperz, 2002.

Tabel 3 Rating *Detectability*

Ranking	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian
1	Metode pencegahan atau deteksi sangat efektif. Tidak ada kesempatan bahwa penyebab akan muncul lagi.	1 dalam 1000000
2	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi adalah sangat rendah.	1 dalam 200000
3		1 dalam 4000
4	Kemungkinan penyebab bersifat moderate.	1 dalam 1000000
5	Metode deteksi masih memungkinkan kadang-kadang penyebab itu terjadi	1 dalam 4000 1 dalam 80
6		
7	Kemungkinan bahwa penyebab itu masih tinggi.	1 dalam 40
8	Metode deteksi kurang efektif, karena penyebab masih berulang lagi	1 dalam 20
9	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi sangat tinggi	1 dalam 8
10	Metode deteksi tidak efektif, penyebab akan selalu terjadi	1 dalam 2

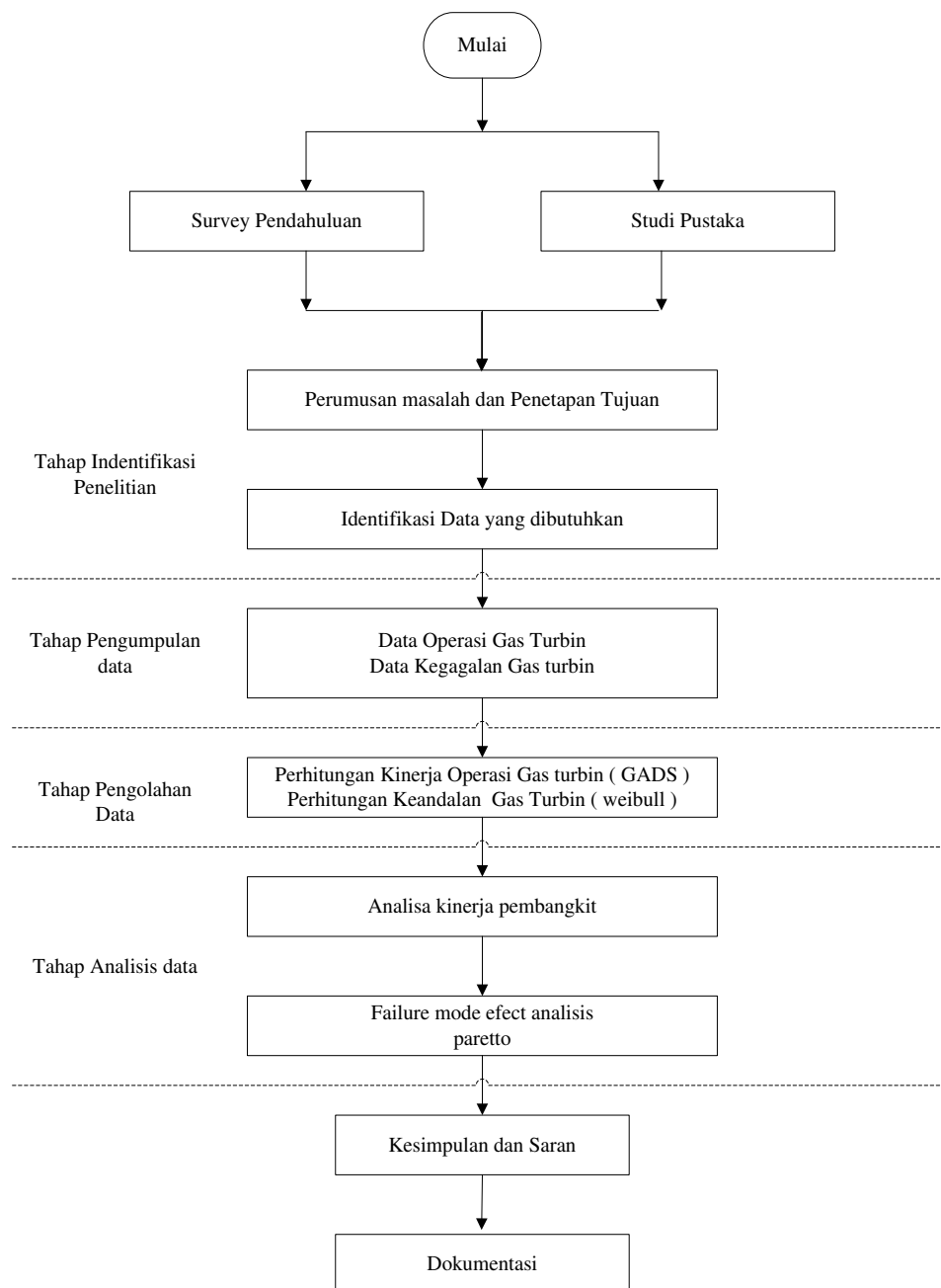
Sumber: Gasperz, 2002.

### 3 Metode

Langkah-langkah penelitian untuk penyelesaian masalah disajikan dalam Gambar 1. Penelitian dimulai dari pengumpulan data melalui observasi di lapangan, wawancara langsung ke bagian operasi dan pemeliharaan yang terdiri dari karyawan-karyawan yang berhubungan langsung dengan unit pembangkit, serta studi pustaka yang relevan dengan penelitian.

Penelitian ini menganalisa kinerja pembangkit turbin gas pada unit pembangkit di pulau Jawa. Penelitian ini merupakan penelitian *deskriptif kuantitatif*, data yang diperoleh dari sampel populasi penelitian dianalisis sesuai dengan metode statistik yang digunakan kemudian diinterpretasikan.

Menurut Sugiyono (2012) sampel adalah sebagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Untuk menentukan jumlah sampel dilakukan sebuah sampling. Teknik sampling merupakan teknik pengambilan sampel. dan Populasi dan sampel yang diambil dalam penelitian ini adalah data kegagalan peralatan Gas Turbin dan data operasi pembangkit Gas Turbin Blok 1 di PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Muara Tawar.



Gambar 1. Langkah penelitian

#### 4 Hasil dan Pembahasan

PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Muara Tawar merupakan industri pembangkitan tenaga listrik yang memproduksi secara terus-menerus selama 24 jam. Hal ini dilakukan karena kebutuhan energi listrik dari pelanggan dalam rangka keandalan suplai energi listrik ke dalam sistem jaringan. Waktu yang digunakan untuk memproduksi oleh mesin-mesin pembangkit listrik dapat dilihat pada Tabel 4. Daya mampu *netto* mesin merupakan kemampuan dari setiap mesin untuk memproduksi sesuai *declare* dengan pihak pengatur beban berdasarkan daya terpasang yaitu sebesar 145 mega watt (MW).

Data produksi dari mesin pembangkit gas turbin selama periode Januari sampai Desember 2016 di PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Muara Tawar disajikan pada Tabel 5. Data tersebut merupakan rekapitulasi hasil produksi tiga mesin pembangkit gas turbin (GT11, GT12, GT13). Dari keseluruhan hasil produksi mesin pembangkit gas turbin tahun 2016, produksi tertinggi dari GT 11 sebesar 789,3 GWh dan yang terendah adalah produksi GT 13 sebesar 703,27 GWh. Semua gas turbin tidak memenuhi target produksi.

Tabel 4 Data periode hour produksi tersedia tahun 2016

Bulan	Periode Hour (Jam)			Daya Mampu Netto (MW)
	GT11	GT12	GT13	
Januari	744	744	744	137
Pebruari	696	696	696	137
Maret	744	744	744	137
April	720	720	720	137
Mei	744	744	744	137
Juni	720	720	720	137
Juli	744	744	744	137
Agustus	744	744	744	137
September	720	720	720	137
Oktober	744	744	744	137
Nopember	720	720	720	137
Desember	744	744	744	137

Sumber: Laporan Produksi Perusahaan Tahun 2016

Tabel 5 Data produksi mesin pembangkit gas turbin tahun 2016

Bulan	Hasil Produksi (GWh)		
	GT11	GT12	GT13
Januari	88,03	38,23	42,04
Februari	7,58	14,07	37,43
Maret	28,13	28,37	35,50
April	0	18,83	19,52
Mei	56,53	1,24	55,39
Juni	86,59	86,56	88,15
Juli	94,59	94,16	90,56
Agustus	87,40	89,09	88,19
September	88,60	88,79	88,57
Oktober	91,90	91,71	14,99
Nopember	82,96	86,16	60,84
Desember	76,95	90,69	82,03
Kumulatif	789,31	727,96	703,27
Target	985,8	909,7	931,3

Sumber: Laporan Produksi Perusahaan Tahun 2016

Data unjuk kerja/*performance* sesuai dengan *Generating Data Availability Data System* (GADS) diperoleh dari perhitungan data produksi. *Performance* pada mesin pembangkit gas turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: *maintenance outage* (MO), *planed outage* (PO), *force outage* (FO), *permanent*

*derating, planed derating, maintenance derating, force derating, dan reverse shutdown.* Faktor faktor tersebut akan mempengaruhi nilai-nilai berikut:

1. *Equivalent Availability Factor (EAF)*

Ilustrasi perhitungan pencapaian kesiapan unit pembangkit (EAF) bulan Januari untuk GT 11 adalah  $(740,5 - 0)/744 * 100\% = 99,50\%$ . Nilai EAF gas turbin tahun 2016 tertinggi berasal dari GT 13 sebesar 89,19 persen dan yang terendah dari GT 11 sebesar 88,16 persen.

Tabel 6 Data kesiapan unit pembangkit (EAF) tahun 2016

Bulan	Equivalent Availability Faktor ( % )		
	GT11	GT12	GT13
Januari	99,50	99,86	100,00
Pebruari	100,00	100,00	100,00
Maret	100,00	100,00	100,00
April	8,61	72,08	99,33
Mei	59,53	0,00	98,17
Juni	91,54	88,16	100,00
Juli	100,00	100,00	99,76
Agustus	100,00	99,76	100,00
September	100,00	100,00	100,00
Oktober	100,00	100,00	18,01
Nopember	98,46	100,00	65,57
Desember	99,35	100,00	90,41
Kumulatif	88,16	88,24	89,19
Target	88,52	88,61	88,63

Sumber: Data perusahaan, diolah (2017)

2. *Capacity Faktor (CF)*

Pencapaian *capacity factor* atau faktor kapasitas (**CF**) seperti pada Tabel 7, perhitungan bulan Januari untuk GT 11 adalah  $88032/(744*137) * 100\% = 86,37\%$ .

Tabel 7 Data Capacity factor ( CF ) tahun 2016

Bulan	Capacity Factor ( % )		
	GT11	GT12	GT13
Januari	86,37	37,51	41,25
Pebruari	7,95	14,76	39,26
Maret	27,60	27,84	34,83
April	0,00	19,09	19,80
Mei	55,47	1,22	54,35
Juni	87,79	87,76	89,37
Juli	92,81	92,38	88,85
Agustus	85,76	87,41	86,53
September	89,83	90,02	89,80
Oktober	90,17	89,98	14,71
Nopember	84,11	87,36	61,69



Tabel 7 Lanjutan

Bulan	Capacity Factor ( % )		
	GT11	GT12	GT13
Desember	75,50	88,98	80,48
Kumulatif	65,59	60,49	58,44
Target	81,92	73,33	75,07

Sumber: Data perusahaan, diolah (2017)

### 3. Net Plant Heat Rate (NPHR)

Perhitungan pencapaian *Net plant Heat Rate* pada bulan Januari untuk GT 11 pada Tabel 7 adalah:

$$NPHR = \frac{1026223,7806192 \times 251995,76}{86323368,9698369} = 2995,7593$$

Tabel 7 Net Plant Heat Rate unit pembangkit tahun 2016

Bulan	Net Plant Heat Rate ( NPHR ),KCal/KWh		
	GT11	GT12	GT13
Januari	2995,76	3006,36	3029,11
Pebruari	3222,70	3202,34	3122,44
Maret	3266,39	3298,62	3263,86
April	0,00	4104,02	4279,81
Mei	3405,08	3781,31	3128,73
Juni	3005,44	3005,40	3025,48
Juli	2893,50	2839,54	3013,21
Agustus	3119,59	3086,59	3209,74
September	3055,18	3116,64	3222,74
Oktober	2932,09	3075,12	3343,54
Nopember	3056,35	3092,96	3060,82
Desember	2935,09	3177,78	3115,00
Kumulatif	3030,22	3067,42	3079,33
Target	3182,4	3182,4	3182,4

Sumber: Data perusahaan, diolah (2017)

Hasil pencapaian Net Plant Heat Rate (NPHR) gas turbin tahun 2016 tertinggi dihasilkan oleh GT 11 sebesar 3030,22 Kcal/Kwh dan yang terendah dari GT 13 sebesar 3079 Kcal/ Kwh. Hampir semua gas turbin tidak melampaui target sehingga, berarti efisiensi tergolong Baik.

Data unjuk kerja/*performance* sesuai dengan distribusi *Weibull* dimana nilai unjuk kerja/*performance* mesin pembangkit Gas Turbin diperoleh dari perhitungan dari data-data kegagalan peralatan dengan mencari banyak kegagalan dan waktu antar. kegagalan atau *Time Between Failure* (TBF) dalam jam di bawah ini disajikan data antar kegagalan masingmasing Turbin.

#### 1. Data kegagalan peralatan Gas Turbin (GT 11)

Berdasarkan rekaman data operasi 2014 - 2016, didapatkan data kegagalan yang menyebabkan gas turbin ( GT 11 ) harus keluar jaringan atau *forced outage* ( FO ) ada 19 kegagalan sesuai Table 8.

Hasil pengolahan data kegagalan gas turbin (GT 11) menghasilkan data distribusi *weibull* 2 dengan

Tabel 8 Kegagalan peralatan Gas Turbin (GT 11)

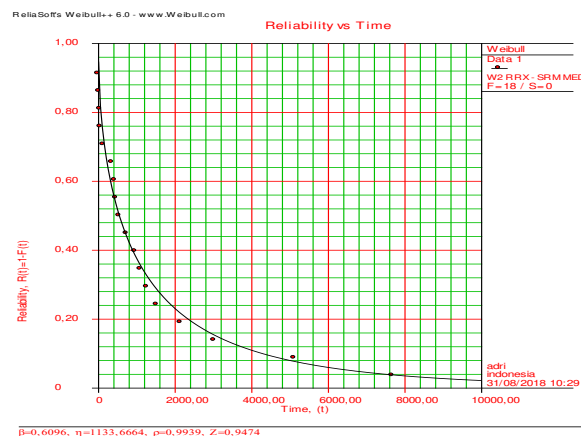
No	Deskripsi	TBF (Jam)	Status
1	<i>Lightning arester bay</i> GT 11-12 patah	0	FO
2	<i>Starting Contactor Discrepancy</i>	1275,85	FO
3	<i>Flame Monitor</i>	2156,73	FO
4	Ditemukan indikasi api pada tunnel bearing 1	53,50	FO
5	GT 11 ditrip kan karena HRSG 11 HP <i>steam Overpressure</i>	969,55	FO
6	<i>Pulsation</i>	5121,47	FO
7	<i>Pulsation</i>	557,93	FO
8	<i>Starting isolator</i> 11MKA10GS101 XB02	363,62	FO
9	Thermocouple TAT	1531,65	FO
10	Trip karena gangguan suplai gas PGN	3030,65	FO
11	<i>Flame Monitor</i>	141,50	FO
12	Ext Trip HV SWGR 52HVA B	65,30	FO
13	<i>Blow Off Valve</i>	1107,12	FO
14	<i>Blow Off Valve</i>	746,33	FO
15	<i>Control valve</i> Bahan Bakar	7683,88	FO
16	Gangguan <i>Power Oil</i>	29,65	FO
17	<i>Blow Off Valve</i>	4,22	FO
18	<i>Flame Monitor</i>	439,78	FO
19	<i>Pulsation</i>	471,20	FO
<i>Mean Time Between Failure</i>		1355,26	

Sumber: Data perusahaan, diolah (2017)

parameter beta sebesar 0,6096 dan eta sebesar 1133,6664 yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Dengan demikian nilai kehandalan gas turbin (GT11) dalam rentang waktu 0 sampai 10000 jam dapat ditunjukkan dari Gambar2. Nilai reliabilitas terus berkurang seiring waktu dan apabila menggunakan standar dalam jangka waktu setahun (8760 jam) memiliki nilai probabilitas kegagalan gas turbin (GT 11) sebesar 0,97 atau dapat dikatakan kemungkinan turbin gas gagal dalam jangka setahun sebesar 97%.

## 2. Data kegagalan peralatan Turbin Gas ( GT 12 )

Berdasarkan rekaman data operasi 2014 - 2016, didapatkan data kegagalan yang menyebabkan gas turbin ( GT 12 ) harus keluar jaringan atau *forced outage* ( FO ) ada 15 kegagalan sesuai Table 9.

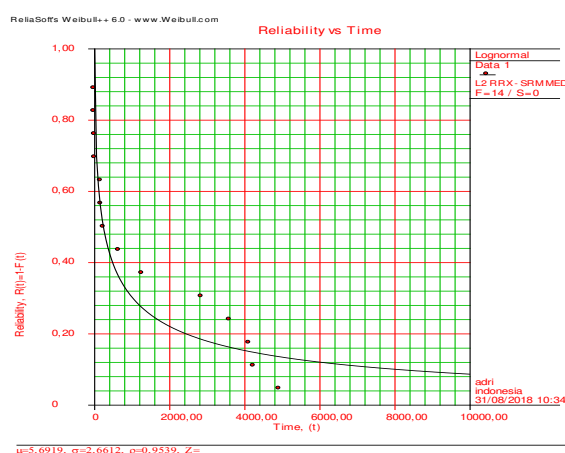


Gambar 2 Grafik Reliability vs Time Gas Turbin ( GT 11)

Tabel 9 Kegagalan peralatan Gas Turbin ( GT 12)

No	Deskripsi	TBF (Jam)	Status
1	<i>lightning arester bay</i> GT 11-12 patah	0	FO
2	gangguan <i>system control</i> (p3b)	661,01	FO
3	<i>Thermocouple</i> TAT	1280,93	FO
4	<i>Thermocouple</i> TAT	4,63	FO
5	<i>Thermocouple</i> TAT	3,4	FO
6	<i>Control Valve</i> Bahan Bakar	3614,66	FO
7	<i>starting isolator</i> 11MKA10GS101 XB02	4933,66	FO
8	<i>Thermocouple</i> TAT	178,26	FO
9	<i>Thermocouple</i> TAT	4131,06	FO
10	Trip karena gangguan suplai gas PGN	252,85	FO
11	<i>Pulsation</i>	18,01	FO
12	Ext Trip HV SWGR 52HVA B	188,9	FO
13	<i>Pulsation</i>	4250,08	FO
14	<i>Control Valve</i> Bahan Bakar	22,08	FO
15	<i>Trip Channel Open</i>	2861,78	FO
Mean Time Between Failure		1493,42	

Hasil pengolahan data kegagalan gas turbin (GT 12) menghasilkan data distribusi lognormal dengan parameter mean sebesar 5,6919 dan standar deviasi sebesar 2,6612 sehingga nilai kehandalan gas turbin (GT12) dalam rentang waktu 0 sampai 10000 jam dapat ditunjukkan dari Gambar 3. Nilai reliabilitas terus berkurang seiring waktu dan apabila menggunakan standar dalam jangka waktu setahun (8760 jam) memiliki nilai probabilitas kegagalan gas turbin (GT 12) sebesar 0,9 atau dapat dikatakan kemungkinan turbin gas gagal dalam jangka setahun sebesar 90 persen. Nilai kehandalan semakin berkurang seiring waktu dan berkurangnya kehandalan diakibatkan pola operasi pembangkit listrik secara *start-stop* dan tidak beroperasi dalam jangka waktu yang panjang.

Gambar 3 Grafik *Reliability vs Time* Gas Turbin (GT 12)

### 3. Data kegagalan peralatanTurbin Gas (GT 13)

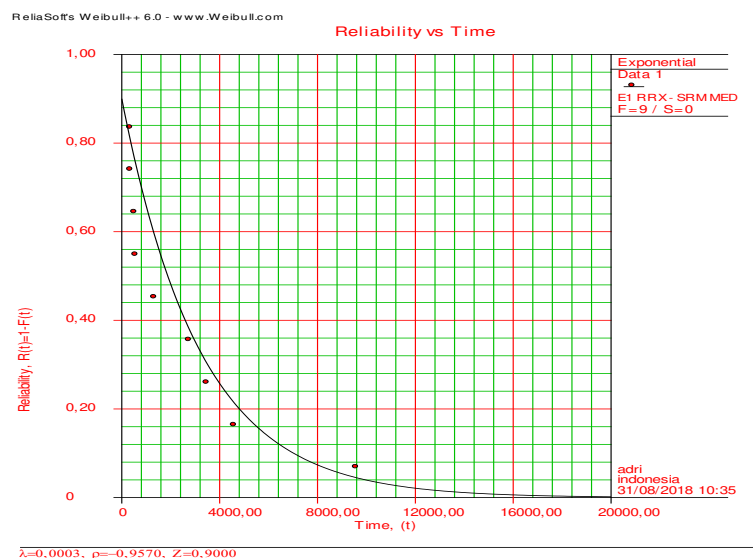
Berdasarkan rekaman data operasi 2014 - 2016, didapatkan data kegagalan yang menyebabkan gas turbin (GT 13) harus keluar jaringan atau *forced outage* (FO) ada 10 kegagalan sesuai Tabel 10.

Tabel 10 Kegagalan peralatan Gas Turbin ( GT 13)

No	Deskripsi	TBF (Jam)	Status
1	kompressor MKS trip 3 Unit (EJWT > high)	0	FO
2	Control Valve Bahan Bakar	627,67	FO
3	Control Valve Bahan Bakar	4652,13	FO
4	Control Valve Bahan Bakar	576,18	FO
5	Thermocouple TAT	3534,47	FO
6	Flame Monitor	404,90	FO
7	Thermocouple TAT	1392,90	FO
8	Gangguan Kompresor MKS	2813,17	FO
9	Gangguan suplai gas PGN	410,20	FO
10	Blow Off Valve	9636,52	FO
Mean Time Between Failure		2404,81	

Sumber: diolah penulis 2017

Hasil pengolahan data kegagalan gas turbin ( GT 13 ) menghasilkan data distribusi eksponensial dengan parameter lamda sebesar 0,0003 Sehingga nilai kehandalan gas turbin ( GT13) dalam rentang waktu 0 sampai 10000jam dapat ditunjukkan dari gambar 4.12. Nilai reliabilitas terus berkurang seiring waktu dan apabila menggunakan standar dalam jangka waktu setahun (8760 jam) memiliki nilai probabilitas kegagalan gas turbin (GT 13) sebesar 0,93 atau dapat dikatakan kemungkinan turbin gas gagal dalam jangka setahun sebesar 93%. Nilai kehandalan semakin berkurang seiring waktu dan berkurangnya kehandalan diakibatkan pola operasi pembangkit listrik secara *start-stop* dan tidak beroperasi dalam jangka waktu yang panjang.



Gambar 4. Grafik Reliability vs Time Gas Turbin (GT 13)

Peralatan kritikal dapat diperoleh dengan menggunakan diagram *Pareto* berdasarkan data gangguan peralatan dalam skenario kegagalan produksi terutama peralatan yang berpengaruh terhadap kehandalan peralatan *gas turbin* (GT 11, GT 12, GT 13). Jumlah gangguan yang tercatat pada masing-masing peralatan yang berpengaruh terhadap produksi listrik dari tahun 2014 hingga tahun 2016 pada Tabel 11.

Hasil rekapitulasi kehandalan, probabilitas kegagalan peralatan dan jenis distribusi yang digunakan untuk menganalisa data kegagalan peralatan disajikan pada Tabel 12. Perencanaan pemeliharaan didasarkan tingkat prioritas dan interval waktu kegagalan peralatan sehingga dapat diketahui jenis dan interval pemeliharaan yang paling tepat dan peralatan dapat terjaga kehandalannya pada Tabel 13.

Tabel 11 Daftar peralatan kritikal GT 11, 12, 13

No	Equipment	Kegagalan	Cumulative	Persen
1	<i>Termocouple TAT</i>	8	28%	28%
2	<i>Control Valve Bahan Bakar</i>	6	48%	21%
3	<i>Pulsation</i>	5	66%	17%
4	<i>Blow off Valve</i>	4	79%	14%
5	<i>Flame Monitor</i>	4	93%	14%
6	<i>Trip Channel Open</i>	1	97%	3%
7	<i>Power Oil</i>	1	100%	3%
Jumlah		29		100%

Sumber: data diolah penulis 2017

Tabel 12 Rekapitulasi kehandalan, probabilitas peralatan kritikal

Unit	Peralatan	Kehandalan	Probabilitas	Distribusi
GT 12	<i>Temperature After Turbine</i>	0,072223	0,927777	<i>Exponential 1</i>
GT 13	<i>Control valve bahan bakar</i>	0,030077	0,969923	<i>Exponential 1</i>
GT 11	<i>Pulsation</i>	0,5718	0,4282	<i>Exponential 1</i>
GT 11	<i>Blow off valve</i>	0,42962	0,570374	<i>Exponential 1</i>
GT 11	<i>Flame Monitor</i>	0,581305	0,418695	<i>Exponential 1</i>
GT 12	<i>Control valve bahan bakar</i>	0,580363	0,419637	<i>Weibull 2</i>
GT 13	<i>Temperature After Turbine</i>	0,416445	0,583555	<i>Exponential 1</i>
GT 12	<i>Pulsation</i>	0,982447	0,017553	<i>Normal</i>

Sumber: data diolah penulis 2017

Pulsation mempunyai nilai tertinggi untuk *Risk Prioritas Number* sebesar 294 dan setelah dilakukan *Task Recommended Action(s)* turun menjadi 252 dan yang terendah adalah blow off valve dengan nilai *Risk Prioritas Number* (RPN) sebesar 120 dan setelah dilakukan *Task Recommended Action* turun menjadi 96 dan kita melihat dari lima peralatan kritikal tersebut tidak bisa dilakukan pemeliharaan pada saat unit beroperasi (*Run to Failure*) pada Tabel 14.

Tabel 13 Kehandalan dan interval pemeliharaan

Unit	Peralatan	Kehandalan	Interval pemeliharaan (jam)
GT 12	<i>Thermocouple TAT</i>	0,8	740
GT 13	<i>Control valve bahan bakar</i>	0,8	550
GT 11	<i>Pulsation</i>	0,8	3450
GT 11	<i>Blow off valve</i>	0,8	2300
GT 11	<i>Flame Monitor</i>	0,8	3600
GT 12	<i>Control valve bahan bakar</i>	0,8	3500
GT 13	<i>Thermocouple TAT</i>	0,8	2200
GT 12	<i>Pulsation</i>	0,8	13800

Sumber : data diolah penulis 2017

Tabel 14 Rekapitulasi Nilai Risk Prioritas Number

No	Equipment	RPN	Task Recommended Action(s)	Action Result			
				Severity	Occurance	Detection	RPN
1	Thermocouple TAT	252	Pemeliharaan , pengencangan, penggantian jika dibutuhkan	6	6	5	180
			Pemeliharaan , pengencangan, penggantian jika dibutuhkan				
2	Blow off Valve	120	Pengecekan terhadap spesifikasi barang	6	4	4	96
			Pembersihan, penggantian jika di perlukan				
3	Control valve bahan bakar	210	Pembersihan, cek sumber tegangan , penggantian jika diperlukan	7	4	5	140
			Pengantian, pemasangan gas detector				
4	Flame monitor	216	perbaikan, penggantian jika diperlukan	6	5	5	150
			Pembersihan, penggantian jika di perlukan				
5	Pulsation	294	Pemeliharaan, pengencangan, penggantian jika dibutuhkan	6	6	6	216
			Kalibrasi, penggantian jika diperlukan				

## 5 Kesimpulan

Hampir semua gas turbin mencapai target faktor ketersediaan atau Equivalent Availability Factor (EAF) tetapi tidak linier dengan Capacity Factor (CF) sehingga target produksi tidak tercapai. Produksi tertinggi dicapai oleh gas turbin GT 11 sebesar 78,93 Gwh dan semua gas turbin mengalami penurunan keandalan seiring waktu. Keandalan tertinggi dicapai oleh GT 13 pada nilai keandalan 0,8 dicapai waktu 725 jam dan terendah dialami oleh GT 12 pada nilai keandalan 0,8 dicapai waktu hanya 35 jam. *Net plant Heat Rate* tertinggi dicapai oleh GT 13 sebesar 3079,33kcal/Kwh dan terendah GT 11 sebesar 3030,22kcal/kwh ini menggambarkan GT 11 paling efisien dan terdapat keterkaitan antara faktor kapasitas dengan Efisiensi. Faktor yang menyebabkan kinerja Gas Turbin adalah kegagalan *flame monitor*, *blowoff valve*, *pulsation*, *thermocouple temperature after turbine* serta *control valve* bahan bakar.

Perlu ada *strategic planning* untuk *spare part* penyebab kegagalan yang terdapat di dalam turbin gas yang tidak bisa dilakukan pemeliharaan dalam keadaan operasi untuk mengurangi *down time* pada saat terjadi kegagalan serta melakukan perubahan periode pemeliharaan untuk menghindari kegagalan pada saat mesin beroperasi.

## Daftar Pustaka

- Anshori, M. (1996). Manajemen Produksi dan Operasi (Konsep dan Kerangka Dasar), Surabaya: Citra Media.
- Carazas, F.J.G. & De Souza, G.F.M. (2009). *Availability analysis of gas turbines used in power plant. International Journal of Thermodynamics*, 12(1): 28-37.
- Ogieva, F.E., Ike, A.S., & Anyaeji, C.A. (2015) *Egbin Power Station Generator Availability and unit Performance studies International Journal of Physical sciences*, 10(4): 155-172
- Gasperz, Vincent. (2002). Pedomani implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001: 2000, MBANQA & HACCP. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Generating Availability Data System (GADS), Data Reporting Instruction, North American Electric Reliability Council, <http://www.nerc>, [gads@nerc.com](mailto:gads@nerc.com).
- Hadroug N., Hafaifa A., Kouzou A., Chaibet A. (2018) Improvement of Gas Turbine Availability Using Reliability Modeling Based on Fuzzy System. In: Timofiejczuk A., Łazarz B., Chaari F., Burdzik R. (eds) *Advances in Technical Diagnostics. ICDT 2016. Applied Condition Monitoring*, vol 10. Springer, Cham
- Obodeh, O. & Esabunor, (2011) Reliability assessment of WRPC gas turbine power station. *Journal of Mechanical Engineering Research* 3(8): 286-292.
- Ozilgen, S. (2012). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for confectionery manufacturing in developing countries: Turkish delight production as a case study. *Food Science and Technology*, 32(3): 505-514.
- Ram, M. & Nagiya, K. (2017). Gas turbine power plant performance evaluation under key failures. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12(7): 1871 - 1886.
- Rambe, L.H. dan Kasim, S.T. (2013) Studi di Keandalan dan ketersediaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 2 PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan. [jurnal.usu.ac.id](http://jurnal.usu.ac.id)
- Sarkar, A., Behera, D.K., Kumar, S., & Singha, M. (2012). Reliability Assessment of Rukhia Gas Turbine Power Plant in Tripura *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2(1): 185-195.
- Sawhney, R. et al. (2010). A modified FMEA approach to enhance reliability of lean systems. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(7): 832-855
- Sugiyono. (2008). Metode Penelitian Bisnis cetakan ke 12. Bandung: Alfabeda.
- Szkoda, M. (2014). Analisis of reliability, availability dan maintainability of rail gauge change system. *Maintenance and Reliability*, 16 (3): 422-432.
- Tahan, M., Tsoutsanis, E., Muhammad, M., Karim, Z.A.A. (2017). Performance-based health monitoring, diagnostics and prognostics for condition-based maintenance of gas turbines: A review. *Applied Energy* 198: 122–144.
- Yusuf, I. & Koki, F.S. (2013) Evaluation of Reliability and Availability Characteristics of a Repairable System with Active Parallel Units. *Open Journal of Applied Sciences*, 3: 337-344
- Xie, L. (2013). A new method for failure modes and effects analysis and its application in a hydrokinetic turbine system. Master Theses, 7124. Missouri University of Science and Technology.